

## Beschreibung

Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem für emissionsarme Überwasser-Marine(Navy)-Schiffe unterschiedlicher Klassen und Größen

Die Erfindung betrifft ein Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem für emissionsarme Überwasser-Marine(Navy)-Schiffe unterschiedlicher Klassen und Größen mit wenigstens einem vorzugsweise aus einem Gleichstromnetzwerk mit elektrischer Energie versorgbaren Marschfahrtantrieb, z.B. einem elektrischen Ruderpropellerantrieb und mit wenigstens einem aus einem Wechselstromnetzwerk mit elektrischer Energie versorgbaren Zusatzantrieb, z.B. einem Wasserstrahlantrieb, welcher bedarfsweise zuschaltbar ist, wobei das Gleichstrom- und das Wechselstromnetzwerk derart ausgebildet sind, dass eine wechselseitige Energieübergabe erfolgen kann.

Herkömmlich werden auf Marine(Navy)-Schiffen zur Erzeugung elektrischer Energie elektrisch erregte Synchrongeneratoren verwendet, welche von Dieselmotoren oder Gasturbinen angetrieben werden. Die Energieübertragung erfolgt in Wechselstromtechnik. Der Antrieb erfolgt mittels Dieselmotoren, Gasturbinen, Elektromotoren oder mittels einer Kombination derselben, wobei die Motoren über eine Welle einen oder mehrere Propeller antreiben und für den Vortrieb des Schiffes sorgen. Dabei werden sowohl Festpropeller als auch Verstellpropeller eingesetzt. Üblicherweise werden die Energieerzeugungsaggregate etwa Mittschiffs angeordnet. Ein Beispiel für herkömmliche Technik bietet die HNLMS "LPD Rotterdam" der Königlichen Marine der Niederlande. Dieses Schiff ist ausgerüstet mit vier Generator-Dieselsätzen, die auf zwei Hauptschalttafeln geschaltet sind. Der Vortrieb erfolgt über vier Elektromotoren, von denen je zwei Motoren über Untersetzungsgetriebe auf eine Welle wirken. Zwei Motoren sind aus Redundanzgründen über Kreuz auf die jeweils andere Mittelspannungsschalttafel geschaltet.

Von Nachteil bei den bisher bekannten Antriebssystemen ist, dass diese nicht weitgehend emissionsfrei gestaltbar sind, also eine hohe Infrarotsignatur und elektromagnetische Signatur aufweisen. Darüber hinaus ist nachteilig, dass die bisher  
5 bekannten Antriebssysteme durch den Treffer nur eines Flugkörpers, z.B. einer mittelgroßen Rakete in das Mittelschiff, außer Gefecht gesetzt werden können.

Der Erfindung liegt in Anbetracht des Standes der Technik die  
10 Aufgabe zugrunde, ein elektrisches Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem anzugeben, das leicht an unterschiedlichste, auch emissionsfreie Betriebszustände anpassbar ist und bei Ausfall von Teilbereichen seiner elektrischen Energieversorgungsnetze funktionsfähig gehalten  
15 werden kann. Dabei soll insbesondere berücksichtigt werden, dass moderne Marine(Navy)-Schiffe zwei unabhängig voneinander funktionsfähige Propulsionseinrichtungen, z.B. einen POD im Heck und einen Wasserstrahlantrieb Mittschiffs aufweisen. Ein Beispiel zeigt die WO 02/057132 A1.

20

Darüber hinaus soll auch die Aufteilung des Schiffes in  
Schiffssicherungsabschnitte bzw. -bereiche berücksichtigt werden, wobei auch der Ausfall von einem oder zwei Schiffssicherungsabschnitten die Funktionsfähigkeit des Schiffes nicht  
25 so wesentlich beeinträchtigen soll, dass sich das Schiff nicht vom Trefferort entfernen und seine Aufgabe zumindest teilweise erfüllen kann. Die Lösung der Aufgabe besteht darin, dass das erfindungsgemäße Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem zumindest ein Gleichstromnetzwerk und ein ~~Wechselstrom~~netzwerk aufweist, die der-  
30 art ausgebildet sind, dass eine wechselseitige Energieübergabe erfolgen kann. Dabei sind das Gleichstromnetzwerk einem POD-Antrieb oder einem Innenbordelektroantrieb, insbesondere mit HTS-Motor, und das Wechselstromnetzwerk einem elektri-  
35 schen Zusatzantrieb, z.B. einem Wasserstrahlantrieb, insbesondere durch einen HTS-Motor angetrieben, zugeordnet. Hier-

durch ergibt sich eine Antriebs-Redundanz, die die bisherigen Antriebs-Redundanzen bei weitem übertrifft.

In Ausgestaltung der Erfindung ist dabei vorgesehen, dass das Gleichstromnetzwerk wenigstens ein Brennstoffzellenmodul zur Erzeugung elektrischer Energie aufweist, insbesondere ein Brennstoffzellenmodul, das zumindest teilweise Reformerwasserstoff verbraucht. Durch den Einsatz eines Brennstoffzellenmoduls, das Gleichstrom erzeugt, ergibt sich eine weitgehend emissionsarme Marschfahrt, da nur die Abluft und die Abgase aus dem Reformer erzeugt werden und die sonst übliche Abgasfahne entfällt. Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Abluft und die Abgase des Reformers über Injektoren in das Umgebungswasser des Schiffes eingedrückt werden, wodurch sie sich einer horizontalen Infrarotortung entziehen.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellenmodul aus miteinander verschalteten, luftatmenden Brennstoffzellen besteht, insbesondere aus Brennstoffzellen mit unterschiedlicher Dynamik. So ergibt sich eine Brennstoffzellenausführung, die für den Bordbetrieb und die Marschfahrt besonders geeignet ist und für die kein reiner Sauerstoff an Bord mitgeführt oder erzeugt werden muss.

Es wird dabei sehr vorteilhaft von den besonderen Vorteilen von Brennstoffzellen Gebrauch gemacht, die sich durch einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, ein gutes Teillastverhalten, niedrige Emissionen sowie äußerst geringe Geräuschentwicklungen auszeichnen und die sich sowohl für dezentrale als auch für zentrale Anwendungen, wie sie für das erfindungsgemäße elektrische Antriebssystem für Schiffe gegeben sind, eignen.

In einer konkreten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung weist das Gleichstromnetzwerk vorzugsweise mehrere Brennstoffzellenmodule mit jeweils etwa 1 MW bis 10 MW auf, wobei jedes Brennstoffzellenmodul vorzugsweise aus vielen miteinan-

der verschalteten Brennstoffzellen mit vorzugsweise 0,1 MW bis 0,3 MW, insbesondere 0,12 bis 0,15 MW, variabel zusammengesetzt ist.

- 5 Brennstoffzellen sind in vielen unterschiedlichen Ausführungen und mit vielen unterschiedlichen Arbeitstemperaturen arbeitend bekannt, so dass aus den vielen unterschiedlichen Typen Brennstoffzellenblöcke zusammengesetzt werden können, die den unterschiedlichen dynamischen Anforderungen an Bord von  
10 Marine(Navy)-Schiffen entsprechen, wobei die Niedrigtemperaturbrennstoffzellen, die eine hohe Dynamik aufweisen, vorteilhaft für eine wechselnde, dynamische Belastung des Gleichstromnetzwerkes und die Hochtemperaturbrennstoffzellen, die eine geringe Dynamik aufweisen, vorteilhaft für die  
15 Grundlast des Gleichstromnetzwerkes eingesetzt werden.

Erfindungsgemäß sind die Brennstoffzellen mit einem Reaktionsgas aus einem Reformer, insbesondere Diesel-, Methanol-, Leichtbenzin- und/oder Erdgasreformer und mit Luft betreib-  
20 bar. Beim Betrieb mit Luft enthält die Sauerstoffseite der Brennstoffzellen etwa 21% Sauerstoff. Beim Betrieb mit dem Reaktionsgas aus einem Reformer, dem sogenannten Reformergas, enthält die Wasserstoffseite der Brennstoffzelle Beimischungen von Stickstoff oder Kohlendioxid. Daraus folgt, dass die  
25 PEM-Brennstoffzellen, wie sie für hochdynamische Anforderungen erfindungsgemäß eingesetzt werden, sowohl auf der Sauerstoffseite als auch auf der Wasserstoffseite nicht mehr dead-ended ausgeführt werden.

- 30 In einer konkreten Ausgestaltung der Erfindung weist das Wechselstromnetzwerk wenigstens einen von einer Gasturbine angetriebenen Synchrongenerator, z.B. in HTS-Technik, zur Erzeugung elektrischer Energie auf.
- 35 Vorteilhafterweise sind das Gleichstrom- und das Wechselstromnetzwerk ein 1 kV- bis 15 kV-Netzwerk.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung versorgen das Gleichstromnetzwerk und das Wechselstromnetzwerk das Bordnetzwerk des Schiffes mit elektrischer Energie. Vorteilhafterweise weist das elektrische Antriebssystem gemäß der vorliegenden Erfindung einen Gleichstromzwischenkreis zur Ankopplung des Bordnetzwerkes an das Gleich- und an das Wechselstromnetzwerk auf. Vorteilhafterweise erfolgt die Energieübertragung sowohl vom Gleichstromnetzwerk als auch von Wechselstromnetzwerk zu dem Gleichstromzwischenkreis und damit zu dem Bordnetzwerk über Gleichstromleitungen. So ist eine einfache wechselseitige Energieübergabe je nach Bedarf in den beiden Netzen möglich. Seitens des Wechselstromnetzwerkes werden dazu Wechselstrom-/Gleichstrom-Umformer eingesetzt.

Seitens des elektrischen Bordnetzes sind in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung Umformer eingesetzt, die die dem Bordnetz zur Verfügung gestellte elektrische Energie in passende Wechselspannung umformen, da in der Regel über das Bordnetzwerk zu versorgende Verbraucher Wechselstromverbraucher sind.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Ansteuerung der Baugruppen und Komponenten des Antriebssystems und der Datenaustausch mittels Glasfaserleitungen, die in ausfallsicher konfigurierter Form angeordnet sind. Ebenso wie bei den Energieversorgungsleitungen können dabei sowohl Ringe als auch sternförmige Konfigurationen gewählt werden.

Vorteilhafterweise sind mehrere Brennstoffzellenmodule im Schiff oder Boot verteilt angeordnet. Dadurch lassen sich Schalt- und Steuergeräte des Schiffs oder Boots auf einfachste Art und Weise anschließen und miteinander verschalten. Insbesondere bei Marine(Navy)-Schiffen ist im Falle eines Treffers die elektrische Energieversorgung aufrecht erhaltbar und gesichert. Insgesamt entsteht durch die Erfindung ein



sehr überlebensfähiges Schiff, dessen elektrische Ausrüstung variabel auf alle Situationen, die nach Treffern auftreten können, reagieren kann.

- 5 In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist sehr vorteilhaft vorgesehen, dass das Netz in dem Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem Strombegrenzungsgeräte aufweist, die als HTS (hochtemperatursupraleitende) - Strombegrenzer und/oder Halbleiterschalter ausgebildet sind
- 10 und mittels derer die Rückwirkung von Spannungseinbrüchen im Kurzschlussfall auf nicht betroffene Teilnetze auf eine Zeitspanne im niedrigen Millisekundenbereich, insbesondere <1ms begrenzt- und damit derartige Spannungseinbrüche auf das jeweils betroffene Teilnetz beschränkbar sind.

- 15 Die Netze von Marine(Navy)-Schiffen sind naturgemäß als Inselnetze ausgeführt, die durch mindestens zwei Generatoren, Brennstoffzellenanlagen oder auch Hochleistungsbatterien oder Kombinationen davon gespeist werden. Zu ihnen gehören elektrische Verteileranlagen mit teilweise hohen Betriebsströmen,
- 20 da häufig Niederspannungsschaltanlagen <1kV eingesetzt werden. An die elektrischen Anlagen derartiger Netze werden im Falle eines Kurzschlussereignisses hohe thermische und dynamische Anforderungen gestellt.

- 25 Bedingt durch die Gestaltung des elektrischen Schutzkonzeptes ist nach Treffern mit Spannungseinbrüchen zu rechnen, welche bis zum Blackout des elektrischen Netzes führen können. Das bedeutet, dass in bestimmten Situationen auch die Generatorschalter auslösen. In einem vollelektrischen Schiff, und um
- 30 ein solches handelt es sich bei dem Marine(Navy)-Schiff definitionsgemäß, hat dies die Manövrierunfähigkeit zur Folge, da die Schiffsantriebe dann nicht mehr versorgt werden können; dies kann bis zum Verlust des Schiffes führen und ist auf jeden Fall zu vermeiden.
- 35

Insbesondere im Fall von Marine(Navy)-Schiffen treten häufig multiple Fehler auf, z.B. im Falle eines oder mehrerer Treffer nach Feindberührung, z.B. durch Lenkflugkörper, bei dem bzw. bei denen verschiedene Abschnitte bzw. Schalttafeln betroffen sind, deren Vorhersage nicht möglich ist, um entsprechende manuelle oder automatische Umschaltungen vornehmen zu können.

Durch Spannungseinbruch im gesamten elektrischen Netz kommt es dann zur Beeinflussung des elektronischen Equipments der Automatisierungs- und Steuerungstechnik im Bereich von einigen 10 bis hin zu einigen 1000 ms, z.B. kann die Reaktionszeit im Hauptbereich zwischen 0,03 und 6 sec betragen. Sofern das elektronische Equipment nicht unterbrechungsfrei, z.B. über Static Transfer Switch von einer Batterie über Wechselrichter gespeist, versorgt ist, kommt es zum Ausfall des elektronischen Equipments, was einen Wiederstart beispielsweise der Betriebssysteme erfordert, welcher weitere Zeit in Anspruch nimmt. Nach einem Treffer sind also sofortige Umschaltungen nicht nur für die Energieleitungen sondern auch für das elektronische Equipment erforderlich.

Aus dem Stand der Technik sind die im folgenden angegebenen Maßnahmen bekannt, mittels derer die Verfügbarkeit und die Ausfallsicherheit des derart gestalteten elektrischen Netzes erhöht werden kann. Die Elektroenergieerzeugungseinheiten sowie die Verbrauchereinheiten werden auf unterschiedliche Schiffssicherungsabschnitte aufgeteilt. Einzelne Schaltlagenabschnitte sind durch Kupplungen, die direkt in einer Schaltanlage in einem Feld als Leistungsschalterfeld angeordnet sind, oder Überleitungen, bei denen in jeder Schaltanlage ein Leistungsschalter vorgesehen ist, die mit einer Kabelstrecke verbunden sind, miteinander verbunden.

Die elektrischen Netze sind als Ringnetze oder Strahlennetze mit zum Teil hohem Vermaschungsgrad ausgebildet, wobei Umschaltungseinrichtungen, z.B. in Form automatischer Schnell-

umschaltungen, vorgesehen sind, um den Redundanzanforderungen im geplanten Betrieb gerecht zu werden. Die bekannten Maßnahmen sind jedoch unter Umständen nicht ausreichend.

- 5 Vorteilhaft soll erfindungsgemäß auch beim Auftreten von Kurzschlussfällen jedwede Beschädigung der elektronischen Ausrüstung automatisierungs- und steuerungstechnisch zuverlässig ausgeschlossen werden. Dies wird durch die bereits vorstehend und insbesondere nachfolgend geschilderten Maßnahmen erreicht.

15 Es ist besonders vorteilhaft, wenn das elektrische Netz Strombegrenzungsgeräte aufweist, die als HTS-Strombegrenzer ausgebildet sind und mit einem Halbleiterschalter und/oder einem Leistungsschalter zusammenarbeiten, mittels denen insbesondere Energiequellen in Form von Elektroenergieerzeugungseinheiten und/oder Energiespeichern schützbar sind.

20 Durch den Einsatz eines HTS-Strombegrenzers zwischen zwei Teilnetzen ist es möglich, das gesunde Teilnetz rückwirkungsfrei von einem durch einen Kurzschluss verursachten Spannungseinbruch im gekoppelten Teilnetz frei zu halten. Das gesunde Teilnetz kann damit ohne Unterbrechung und ohne Wiederhochlauf der daran angeschlossenen Energieversorgungseinrichtungen und -verbraucher in Betrieb bleiben. Durch Zusammenwirken des als Primärschutz wirkenden HTS-Strombegrenzers mit Sekundärschutzeinrichtungen, welche auf die vorhandenen konventionellen mechanischen Leistungsschalter oder elektronischen Halbleiterschalter wirken, ist es möglich, auch im vom Kurzschluss betroffenen Teilnetz den oder die Fehler selektiv zu erfassen.

35 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem zumindest in Teilen als Standardausrüstungssegment für Marine(Navy)-Schiffe unterschiedlicher Größe ausgebildet ist. So kann vorteilhaft eine Standardisierung der entsprechenden Komponenten erreicht



werden. Dies führt einmal zu erheblichen Kostenvorteilen als auch zu Vorteilen bei der Einarbeitung von Personal, der Erstellung von Handbüchern und Bedienungsanleitungen etc..

- 5 Das gleiche gilt auch, wenn als Marschfahrtantriebe Standard-  
POD-Antriebe verwendet werden bzw. wenn Standard HTS-Motoren-  
oder Generatoren verwendet werden. Insgesamt ergibt sich so  
eine Ausrüstung von Marine(Navy)-Schiffen, die sowohl die  
Standkraft als auch die Bedienung, Wartung und Instandhaltung  
10 der Marine(Navy)-Schiffe erheblich verbessert.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfol-  
gend anhand von in den Figuren dargestellten beispielhaften  
Ausführungsbeispielen näher erläutert, die ebenso wie die An-  
15 sprüche weitere, auch erfindungswesentliche, Einzelheiten  
enthalten.

Es zeigen:

- FIGUR 1 das prinzipielle Konzept des elektrischen Antriebs-  
20 systems gemäß der vorliegenden Erfindung,  
FIGUR 2 das prinzipielle Konzept der Netzwerke des elektrischen  
Antriebssystems gemäß der vorliegenden Erfindung,  
FIGUR 3 eine Prinzipdarstellung einer ersten Ausführungs-  
25 form eines erfindungsgemäßen elektrischen Netzes  
für das System,  
FIGUR 4 eine Prinzipdarstellung einer zweiten Ausführungs-  
form eines erfindungsgemäßen elektrischen Netzes  
für das System,  
30 FIGUR 5 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen  
elektrischen Netzes für eine Fregatte,  
FIGUR 6 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen  
elektrischen Netzes für eine Korvette,  
FIGUR 7 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen  
35 elektrischen Netzes für ein Schnellboot,

FIGUR 8 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen elektrischen Netzes für ein großes unbemanntes Kampfboot und

5 FIGUR 9 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Netzes für ein unbemanntes kleines Kampfboot.

FIGUR 1 zeigt das Antriebskonzept des elektrischen Antriebssystems für Schiffe. Das elektrische Antriebssystem weist vier in Abhängigkeit des Betriebszustandes voneinander unabhängig betreibbare Antriebe auf, zwei Ruderpropellerantriebe 1 und zwei redundant ausgebildete Wasserstrahlantriebe 2. Bei dem in FIGUR 1 dargestellten elektrischen Antriebssystem für Schiffe sind folgende Betriebszustände vorgesehen:

15 In einem Geschwindigkeitsbereich bis zu 20 kn, bzw. in geräuscharmer Dauermarschfahrt, wird das Schiff nur von den beiden Ruderpropellerantrieben 1 angetrieben und gesteuert. Die Ruderpropellerantriebe 1 weisen beispielsweise eine Antriebsleistung von etwa 5 bis 10 MW auf. Die elektrische Energie für die Ruderpropellerantriebe 1 und das Bordnetz wird für diesen Betriebszustand geräuscharm von Brennstoffzellen 7 in Zusammenwirken von z.B. Dieselreformern erzeugt, wie nachfolgend noch näher erläutert.

25 In einem Geschwindigkeitsbereich von über 20 kn werden die beiden redundant ausgebildeten Wasserstrahlantriebe 4 (Twin-Waterjets) mit einer Leistung von je etwa 10 bis 20 MW zugeschaltet. Die elektrische Energie für die Wasserstrahlantriebe 4 wird von zwei Drehstrom-Synchrongeneratoren 6, insbesondere in HTS-Technik ausgebildet, welche von je einer Gasturbine angetrieben werden, erzeugt.

Die Leistungsverteilung der zum Vortrieb des Schiffes benötigten Schubleistung zwischen den Ruderpropellerantrieben 1 und den Wasserstrahlantrieben 4 (Twin-Waterjets) erfolgt nach wirkungsgrad-optimierten Gesichtspunkten.

Die Ruderpropellerantriebe 1 beziehen ihre Energie vorteilhaft aus einem Gleichspannungsnetz (SSB1), in einem Bereich von DC 1 bis . . . . nkV. Wechselrichtereinheiten 3, bestehend aus z.B. HV-IGBT-Power-Cards und Dioden-Power-Cards formen die Gleichspannung in Wechselspannung mit variabler Spannung und Frequenz um. Jeder der beiden Ruderpropellerantriebe 1 besteht aus folgenden Komponenten:

- Stromversorgungsschrank
- 10 - Umrichter-Schrankgruppe mit Leistungsteil, Steuer und Regelteil, Rückkühlanlage
- Azimuth-Steuerung
- Azimuth-Antrieb
- Ruderpropeller

15

Darüber hinaus ist vorteilhaft ein Ruderpropeller , insbesondere einziehbar ausgebildet, im Bugbereich angeordnet und besteht aus zwei Modulen, dem Azimuth-Modul und dem Propulsions-Modul. Damit ist ein Manövrierantrieb bereitgestellt, der auch als Notantrieb für Langstreckenfahrten geeignet ist.

20

Das Azimuth-Modul wird oberhalb der Wasserlinie auf einen entsprechend bearbeiteten Flansch aufgesetzt und mit diesem verschraubt und abgedichtet. Diese Einbauart ist für azimuth-  
25 hierende Antriebe unter dem Begriff "Brunneneinbau" bekannt. Zum Azimuth-Modul gehören folgende Teilsysteme:

- Elektro-hydraulisches Steuerungssystem
- Schwenklager
- 30 - Tragkegel
- Hilfsbetriebe Propulsions-Modul
- Übertragereinheit Haupt- und Hilfsenergie sowie Signal-Übertragung
- Schaltkasten

35

Das Propulsions-Modul enthält den eigentlichen Antrieb, das heißt, die Elektromotor-Propeller-Einheit. Das Propulsions-Modul lässt sich in folgende Baugruppen gliedern:

- 5    - E-Motor, z.B. Synchronmotor mit HTS-Läufer
- Membrankupplungen
- Propellerwelle
- Propeller
- Propellerwellenlagerung
- 10   - Propellerwellenabdichtung
- Propellerwellenbremse
- Unterwassergehäuse
- Schaft
  
- 15   Als elektrischer Antriebsmotor für den Propeller wird vor-  
     teilhaft ein Synchronmotor eingesetzt, bestehend aus dem  
     feststehenden Stator und dem mit der Welle verbundenen Rotor.  
     Dieser weist vorteilhaft Wicklungen in HTS-Technik auf. Der  
     Stator ist in das Unterwassergehäuse vorzugsweise über eine  
20   kraftschlüssige Verbindung eingebracht. Über diese Verbin-  
     dung, vorteilhaft eine Schrumpfverbindung, erfolgt die Ent-  
     wärmung des Stators in das umgebende Seewasser. Der Stator  
     enthält ein dreiphasiges Wicklungssystem. Die Wicklungsenden  
     werden über ein Schienensystem in den Anschlussbereich ge-  
25   führt. Zur Überwachung und zur Steuerung ist der Motor mit  
     Sensoren ausgestattet. Die vorstehend beschriebene Modul- und  
     Motorausbildung ist im Prinzip aus der Handelsschifffahrt be-  
     kannt und wird im wesentlichen auch für Marine(Navy)-Schiffe  
     übernommen. Für Marine(Navy)-Schiffe ist dabei insbesondere  
30   die Ausbildung des Motors in HTS-Technik vorgesehen; hierfür  
     wird im Schaft ein Kälteaggregat angeordnet.

Die elektrische Energie wird vom im Schiff befindlichen  
Stromrichter 3 zu den im drehbaren Propulsions-Modul befind-  
35   lichen Motor über Kabel und eine Schleifringeinheit übertra-  
     gen. Die Schleifringeinheit erlaubt unbegrenzte Drehbewegun-  
     gen. Die Verbindungen zwischen Stromrichter und Schleifring

sowie zwischen Schleifring und Motoranschluss-Schienenensystem sind mit Kabeln realisiert und schockfest ausgebildet. Auch der Motor ist vorteilhaft für Marine(Navy)-Schiffe schockfest ausgebildet.

5

Die Komponenten der Umrichteranlage 3 sind in einer Schrankgruppe zusammengefasst und bestehen aus den Komponenten Leistungsteil, Steuer- und Regelteil, Rückkühlanlage. Der Motor des Propellerantriebs 1 wird durch eine Wechselrichtereinheit 3 gespeist, die im Schiff angeordnet ist. Die Wechselrichtereinheit 3 erzeugt eine in Frequenz, Amplitude und Phasenlage geregelte Spannung. Die Spannungsform wird jeweils dem aktuellen Bedarf des Motors und der übergeordneten Steuerung angepasst. Bei dem in FIGUR 1 dargestellten Ausführungsbeispiel des elektrischen Antriebssystems werden als Wechselrichtereinheiten 3 z.B. SIMAR Drive PWM (Siemens Marine Drive Puls Width Modulation) eingesetzt. Die Wechselrichtereinheiten 3 werden aus dem Gleichspannungsnetz SSB1 im Bereich von DC 1. . . nkV gespeist. Die Wechselrichtereinheiten 3 bestehen z.B. aus HV-IGBT- oder IGCT-Power Cards und Dioden Power Cards und sind in einem Schranksystem aufgebaut. Sie ermöglichen einen Vier-Quadranten-Betrieb der Propellerantriebe 1. Damit ist ein Betrieb in beiden Richtungen möglich. Das zugehörige Steuer- und Regelsystem ist voll digital ausgebildet und mit Baugruppen z.B. aus dem Standardsystem SIMADYN und/oder SIMATIC S7 aufgebaut.

20

25

Das Steuer- und Regelsystem der Propellerantriebe 1 besteht z.B. aus folgenden Funktionsgruppen:

30

- Umrichternahe Steuerung und Regelung (TCU), integriert im Leistungsteil,
- Schiffsspezifische Steuerung und Regelung

35

Die Wechselrichtereinheiten 3 werden mittels Wasser gekühlt und enthalten z.B. einen geschlossenen Wasserkreislauf, welcher mit entionisiertem Wasser gefüllt ist. An diesen Fein-



wasserkreis sind die IGBT- oder IGCT-Module und Dioden-Module der Wechselrichtereinheiten 3 angeschlossen. In der Rückkühlanlage wird die Verlustwärme in einem Wasser-Wärme-Tauscher an einen Frischwasserkreislauf abgegeben, welcher bei Bedarf an das Frischwassersystem des Schiffes angeschlossen werden kann.

FIGUR 2 zeigt das Netzsystem des elektrischen Antriebssystems gemäß FIGUR 1. Das Hauptnetz wird für den Vortrieb des Schiffes verwendet und besteht aus einem Gleichspannungsnetzwerk DC 1. . . nkV-Netz und einem Wechselspannungsnetzwerk, vorliegend z.B. ein Mittelspannungsnetz mit 11 kv/50 Hz oder 60 Hz. Das Gleichstromnetzwerk befindet sich je zur Hälfte im Schiffssicherungsbereich 1 und 3 (SSB1 und SSB3). Die beiden Teilnetze sind durch eine Überleitung miteinander verbunden, welche im Normalbetrieb über entsprechende Schalterstellungen geschlossen gefahren wird.

Die elektrische Energie für den geräuscharmen Betriebszustand wird durch vier z.B. 4,5 MW Brennstoffzellen-Module bereitgestellt, die jeweils aus beispielsweise 30 Brennstoffzellen mit je 0,15 MW Leistung bestehen. Die Brennstoffzellen-Module umfassen insbesondere, jedoch nicht unbedingt ausschließlich, sogenannte PEM-Brennstoffzellen, die jeweils aus einem Stapel in Reihe geschalteter Membranelektrodeneinheiten und Bipolarplatten, Stacks genannt, bestehen und insofern verhältnismäßig einfach aufgebaut sind. Sie sind schock- und rüttelfest ausführbar und daher besonders für den Einsatz auf Marine(Navy)-Schiffen geeignet. Ihr prinzipieller Aufbau ist aus der Literatur gut bekannt.

Die Energieerzeugung des Gleichstromnetzwerkes erfolgt beispielsweise, wie bereits ausgeführt, über je zwei 4,5 MW-Brennstoffzellen 7, die die Ruderpropellerantriebe 1 über Wechselrichtereinheiten 3 mit elektrischer Energie versorgen. Die Ruderpropellerantriebe haben dabei beispielsweise eine Motorleistung von 5 bis 10 MW. Darüber hinaus wird das Bord-

netz 17 in der Regel über den Bordnetzzwischenkreis 16 ebenfalls seitens der Brennstoffzellen 7 über das Gleichstromnetzwerk mit elektrischer Energie versorgt.

- 5 Wie in FIGUR 2 des weiteren zu erkennen, versorgen die Brennstoffzellen 7 über das Gleichstromnetzwerk Waffensysteme des Schiffes, darunter auch High Energy Puls oder Laser Waffen sowie über entsprechende Umformer Antriebsmotoren; vorliegend den Antrieb 14 für das Querstrahlruder bzw. einen sogenannten  
10 Bow Thruster (vergl. FIGUR 1).

Das als Wechselstromnetzwerk ausgebildete Mittelspannungsnetz befindet sich vorteilhaft im Schiffssicherungsbereich 2 (SSB2) und wird durch zwei Gasturbinen/Synchrongenerator-  
15 Aggregate mit beispielsweise jeweils 16 MW mit elektrischer Energie versorgt. Das Wechselstromnetzwerk speist die Wasserstrahlantriebe 2, welche als Twin-Waterjets ausgebildet sind. Darüber hinaus wird der Bordnetzzwischenkreis 16 und über diesen das Bordnetz 17 von dem Wechselstromnetzwerk bei Bedarf mit elektrischer Energie versorgt, wozu das Wechsel-  
20 stromnetzwerk zum Anschluss an den Bordnetzzwischenkreis mit einem Transformator 8 mit nachgeschaltetem Umformer 9 (Umrichter) versehen ist. Diese Energiebrücke spielt in Bezug auf die Ausfallsicherheit des elektrischen Systems eine besondere Rolle, da über sie der Ausfall von Energieerzeugungseinheiten aufgefangen werden kann. Des weiteren kann über diese Energiebrücke sehr vorteilhaft ein Anfahren der Waterjets erfolgen, ohne dass die Gasturbinengeneratorsätze in Betrieb gesetzt werden. Es ist also ein emissionsfreies Anfah-  
30 ren des mit dem System versehenen Marine(Navy)-Schiffs möglich, bis eine ausreichende Geschwindigkeit erreicht wird, um die Abgase der Gasturbinen oder von eventuellen Dieselaggregaten, die anstelle der Gasturbinen verwendet werden können, über Abgaseinleitungskammern in das das Schiff umgebende Wasser einzuleiten.  
35

- Wie bereits erläutert, weist das elektrische Antriebssystem einen Gleichstromzwischenkreis 16 zur Ankopplung des Bordnetzwerkes 17 an das Gleich- und an das Wechselstromnetzwerk auf. Der Gleichstromzwischenkreis ermöglicht dabei eine autarke Bordnetzversorgung 17 innerhalb der drei Schiffssicherungsbereiche SSB1, SSB2 und SSB3. Die Teilnetze in den einzelnen Schiffssicherungsbereichen SSB1 und SSB3 werden direkt vom Gleichstromnetzwerk über Gleichrichter 10 mit elektrischer Energie versorgt. Die Gleichrichter 10 verhindern dabei eine Rückspeisung von Kurzschlüssen auf das Gleichstromnetzwerk, so dass eine sichere Energieversorgung der Propellerantriebe 1, der Waffensysteme 15 und der Querstrahlruder 14 gegeben ist.
- 15 Im Schiffssicherungsbereich 2 (SSB2) wird das Bordnetz 17 über den Gleichstromzwischenkreis 16 mit elektrischer Energie versorgt. Das Wechselstromnetzwerk des Schiffssicherungsbereichs 2 (SSB2) weist zur Speisung des Gleichstromzwischenkreises 16 einen Transformator 8 mit nachgekoppelten Umrichtern 9 auf, der aus dem für den Vortrieb der Wasserstrahlantriebe 2 vorgesehenen Wechselstromnetzwerk, z.B. einem Fahrnetz AC 11kv/60 Hz, eine Gleichspannung erzeugt. Durch den Transformator 8 ist eine galvanische Trennung zwischen dem Wechselstromnetzwerk und dem Gleichstromnetzwerk gewährleistet. Über diese Verbindung, die derart ausgebildet ist, dass in ihr Strom in beiden Richtungen übergeben werden kann, sind, wie bereits angegeben, das Wechselstromnetzwerk und das Gleichstromnetzwerk miteinander verbunden.
- 30 Die drei Gleichstromnetzwerke des Bordnetzes 17 sind durch Überleitungen miteinander verbunden, welche im Normalbetrieb geöffnet sind. Bei Ausfall bzw. Teilausfall eines der für den Betrieb der Antriebe vorgesehenen Energieerzeuger bzw. deren Netzwerke ist durch den über die Überleitungen gegebenen Verbundbetrieb des Gleichstromzwischenkreises die Versorgung des Bordnetzes 17 mit elektrischer Energie gewährleistet. Die Bordnetze 17 in den einzelnen Schiffssicherungsbereichen
- 35

SSB1, SSB2 und SSB3 weisen eingangsseitig einen Wechselrichter 13 auf, der die 1. . . nkV-Gleichspannung in die Bordnetzspannung, also in 3 AC 60 Hz 440 V umformt (gemäß STANAG 100). Bei Spannungen > 1 kV DC wird zwischen dem Umformer 12  
5 und dem Wechselstromnetzwerk des Bordnetzes (AC-Netz) ein Transformator zwischengeschaltet.

Jeder Wechselrichter 12 (Umformer) des Bordnetzes 17 hat zwei Energieeinspeisungen. Die Hauptspeisung erfolgt aus dem  
10 Gleichstromzwischenkreis (Bordnetzzwischenkreis) 16 des jeweiligen Schiffssicherungsbereichs SSB. Die Ersatzeinspeisung erfolgt über die Überleitungen aus dem jeweiligen Gleichstromzwischenkreis 16 des benachbarten Schiffssicherungsbereichs SSB. Damit ist eine redundante Versorgung des Bordnetzes 17 gewährleistet.  
15

Gleichrichterdioden 13 in den jeweiligen Einspeisungen verhindern vorteilhaft Rückspeisungen in Richtung des Gleichstromzwischenkreises bzw. in Richtung des Gleichstromnetzwerkes bzw. des Wechselstromnetzwerkes. Weiterhin ist vorteilhaft eine unterbrechungslose Lastübernahme von der Haupt- auf  
20 die Ersatzspeisung möglich. Durch den Gleichstromzwischenkreis 16 können die Schalter für die Haupt- und die Ersatzspeisung der jeweiligen Bordnetze in den Schiffssicherungsbereichen SSB1, SSB2 und SSB3 unterbrechungslos umgeschaltet  
25 werden.

Um außer durch schaltungstechnische Maßnahmen zu verhindern, dass sich die resultierenden Spannungsunterbrechungen aus  
30 Kurzschlüssen, bzw. Schaltvorgängen aus dem Gleichstromnetzwerk bzw. dem Wechselstromnetzwerk und der Ruderpropellerantriebe 1 bzw. Wasserstrahlantriebe 2 auf das Bordnetz 17 übertragen, sind Energiespeicher 11 mit Gleichstromausgang seitens der Bordnetze 17 vorgesehen. Diese sind zwischen dem  
35 Eingang des Wechselrichters 12 und dem Ausgang der Gleichrichterdioden 13 angeordnet. Durch die Gleichrichterdioden 13

wird vorteilhaft eine Rückspeisung auf netzseitige Kurzschlüsse verhindert, wie bereits erläutert.

Das elektrische Antriebssystem gemäß den FIGUREN 1 und 2 erlaubt es sehr vorteilhaft, sowohl alle Energieerzeuger gleichzeitig zu betreiben als auch alle Vortriebskomponenten gleichzeitig einzuschalten. Für Fahrzustände mit geringerer Geschwindigkeit kann die Einschaltung der verschiedenen Propulsionseinrichtungen je nach Bedarf erfolgen, wobei ebenfalls je nach Bedarf die Energieerzeugereinheiten eingesetzt werden.

Durch die Trennung und Aufteilung der Fahrnetze (Gleichstromnetzwerk und Wechselstromnetzwerk für die Antriebe 1 und 2) und die Hauptgruppenverteilung in die drei Schiffssicherungsbereiche SSB1, SSB2 und SSB3, sind im Trefferfall mit großer Wahrscheinlichkeit jeweils ein Antriebssystem und mindestens 66 % der Bordnetzversorgung noch einsatzfähig. Dabei kann der Treffer so gravierend sein, dass in seinem Bereich nur noch die Schiffsstruktur erhalten bleibt. Das Marine(Navy)-Schiff bleibt trotzdem noch manövrierfähig und kann sich vom Treffertort entfernen.

Ein in FIGUR 3 beispielhaft gezeigtes elektrisches Netz kommt an Bord von Marine(Navy)-Schiffen zum Einsatz und ist in - im dargestellten Ausführungsbeispiel - ebenfalls drei Schiffssicherungsbereiche 22, 23 und 24 untergliedert.

Im Schiffssicherungsbereich 22 sowie im Schiffssicherungsbereich 24 ist als Elektroenergieerzeugungseinheit jeweils mindestens eine Brennstoffzelleneinheit 25 vorgesehen. Diese Brennstoffzelleneinheit 25, die einen Gleichstrom generiert, speist elektrische Energie über einen DC/AC-Wandler 26 in ein AC-Hauptnetz 27 ein, zwischen dem DC/AC-Wandler 26 und dem Hauptnetz 27 ist ein Leistungs- bzw. Lastschalter 28 vorgesehen.



Im Schiffssicherungsbereich 23 sind als Elektroenergieerzeugungseinheiten zwei Generatoren 29 vorgesehen, die über jeweils einen Leistungs- bzw. Lastschalter 28 elektrische Energie in das Hauptnetz 27 einspeisen. Im Schiffssicherungsbereich 23 weist das Hauptnetz 27 eine Netzkupplung 30 auf, in der ein Strombegrenzungsgerät in Form eines HTS-Strombegrenzers 31 angeordnet ist, dem ein Leistungsschalter 32 zugeordnet ist. Mittels der Netzkupplung 30 werden im Schiffssicherungsbereich 23 zwei Teilnetze ausgebildet, von denen jeweils einer einem der beiden Generatoren 29 zugeordnet ist.

Zwischen dem Schiffssicherungsbereich 22 und dem Schiffssicherungsbereich 23 sowie zwischen dem Schiffssicherungsbereich 23 und dem Schiffssicherungsbereich 24 ist jeweils eine Netzüberleitung 33 vorgesehen, mittels der das Hauptnetz 27 über die Grenzen der Schiffssicherungsbereiche 22, 23 und 24 verbunden bzw. verbindbar ist. Auch in den beiden in FIGUR 3 gezeigten Netzüberleitungen 33 ist jeweils ein HTS-Strombegrenzer 31 vorgesehen, dem seitens beider Schiffssicherungsbereiche 22, 23 bzw. 23, 24 jeweils ein Leistungsschalter 32 zugeordnet ist. Aus dem Hauptnetz 27 sind die in dieser FIGUR nicht gezeigten Schiffsantriebseinheiten mit elektrischer Energie versorgbar. Dies geschieht, wie sich aus FIGUR 3 prinzipiell ergibt, mittels Abzweigen 34, die die nicht gezeigten Schiffsantriebseinheiten an das Hauptnetz 27 anschließen.

Des weiteren gehören zu dem in FIGUR 3 gezeigten elektrischen Netz Bordnetzzwischenkreise 35, von denen im in FIGUR 3 gezeigten Ausführungsbeispiel in jedem Schiffssicherungsbereich 22, 23, 24 einer vorgesehen ist. Die Bordnetzzwischenkreise 35 sind über Abzweige 36 an das Hauptnetz 27 angeschlossen, wobei jeder Bordnetzzwischenkreis 35 mittels zweier Abzweige 36 an das Hauptnetz 27 angeschlossen ist und die einem Bordnetzzwischenkreis 35 zugeordneten Abzweige 36 in unterschiedlichen Schiffssicherungsbereichen 22, 23, 24 an das Hauptnetz 27 angeschlossen sind. So ist beispielsweise der Bordnetzzwischenkreis 35 im Schiffssicherungsbereich 22 mittels eines

Abzweigs 36 im Schiffssicherungsbereich 22 und mittels eines weiteren Abzweigs 36 im Schiffssicherungsbereich 23 an das Hauptnetz 27 angeschlossen. Der Bordnetzzwischenkreis 35 im Schiffssicherungsbereich 23 ist mittels eines Abzweigs 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 22 und mittels eines Abzweigs 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 24 angeschlossen. Der Bordnetzzwischenkreis 35 im Schiffssicherungsbereich 24 ist mittels eines Abzweigs an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 24 und mittels eines Abzweigs 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 23 angeschlossen.

In jedem Abzweig 36, mittels dem ein Bordnetzzwischenkreis 35 an das Hauptnetz 27 angeschlossen ist, ist ein Halbleiterschalter 37 für bidirektionalen Strom angeordnet, dem ein Leistungsschalter 32 zugeordnet ist. Des weiteren ist in jedem Bordnetzzwischenkreis 35 ein Energiespeicher 38 vorgesehen, der über einen DC/AC-Wandler 39, der optional mit einem Transformator ausgerüstet sein kann, mit dem jeweiligen Bordnetzzwischenkreis 35 verbunden ist. Die Bordnetzzwischenkreise 35 sind mittels Abzweigungen 40, in denen jeweils ein Leistungsschalter 28 vorgesehen ist, an Bordnetz-Hauptgruppen angeschlossen, von denen Verbraucherabzweige 42 zu einzelnen Verbrauchern, die nicht dargestellt sind, führen.

Das in FIGUR 4 beispielhaft gezeigte elektrische Netz 21 hat ein DC-Hauptnetz, welches entsprechend der anhand FIGUR 3 gezeigten Ausführungsform ebenfalls in die drei Schiffssicherungsbereiche 22, 23, 24 untergliedert ist.

In den Schiffssicherungsbereichen 22 und 24 ist jeweils der Brennstoffzelleneinheit 25 ein DC/DC-Wandler bzw. DC/DC-Hochsetzsteller 43 zugeordnet, über die die Brennstoffzelleneinheiten 25 elektrische Energie in das DC 1. . . nkV-Hauptnetz 27 einspeisen. Entsprechend sind die beiden im mittleren Schiffssicherungsbereich 23 vorgesehenen Generatoren 29 über AC/DC-Wandler bzw. Gleichrichter 44 an das Hauptnetz 27 ange-

schlossen. Jeder Elektroenergieerzeugungseinheit 25, 29 ist des weiteren ein Leistungs- bzw. Lastschalter 28 zugeordnet.

Die Ausgestaltung des Hauptnetzes 27 mit der im Schiffssicherungsbereich 23 vorgesehenen Netzkupplung 30 und den beiden Netzüberleitungen 33 zwischen dem Schiffssicherungsbereich 22 und dem Schiffssicherungsbereich 23 bzw. Schiffssicherungsbereich 23 und dem Schiffssicherungsbereich 24 entspricht derjenigen des in FIGUR 3 gezeigten elektrischen Netzes 21.

10

Über die Abzweige 34 werden aus dem Hauptnetz 27 heraus die Schiffsantriebseinheiten, die in FIGUR 4 nicht gezeigt sind, mit elektrischer Energie versorgt. Es sei darauf hingewiesen, dass die beiden im Schiffssicherungsbereich 22 und im Schiffssicherungsbereich 24 angeordneten, zu den Schiffsantriebseinheiten führenden Abzweige 34 mit Halbleiterschaltern 45 für unidirektionalen Strom versehen sind, denen jeweils ein Leistungsschalter 32 zugeordnet ist. Aus dem DC-Hauptnetz 27 werden des weiteren die drei Bordnetzzwischenkreise 35 mit elektrischer Energie versorgt. Hierzu ist der Bordnetzzwischenkreis 35 im Schiffssicherungsbereich 22 über einen Abzweig 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 22 und über einen Abzweig 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 23 angeschlossen. In jedem dieser beiden Abzweige 36 ist ein Halbleiterschalter 45 für unidirektionalen Strom in Kombination mit einem Leistungsschalter 32 und einer Diode 46 angeordnet, wobei es sich bei der Diode 46 um ein optionales Bauteil handelt, das der Entkopplung der Leitungen zwischen verschiedenen Schiffssicherungsbereichen im Fehlerfall dient.

30

Der Bordnetzzwischenkreis 35 im Schiffssicherungsbereich 23 ist über ebenfalls zwei wie vorstehend beschrieben ausgestaltete Abzweige 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 22 und im Schiffssicherungsbereich 24 angeschlossen. Entsprechend ist der Bordnetzzwischenkreis 35 im Schiffssicherungsbereich 24 über zwei wie vorstehend beschrieben aus-

35

gestaltete Abzweige 36 an das Hauptnetz 27 im Schiffssicherungsbereich 23 und im Schiffssicherungsbereich 24 angeschlossen.

- 5 Den Bordnetzzwischenkreisen 35 in den Schiffssicherungsbereichen 22, 23, 24 ist jeweils ein Energiespeicher 38 zugeordnet, der über einen Halbleiterschalter 45 für unidirektionalen Strom ge- bzw. entladen wird. Der Bordnetzzwischenkreis 35 jedes Schiffssicherungsbereiches 22, 23, 24 ist über einen
- 10 Abzweig 40 an drei AC 440 V 3~ 60Hz Bordnetz-Hauptgruppen 41 angeschlossen, wobei in jedem Abzweig 40 ein DC/AC-Wandler bzw. Tiefsetzsteller 47 in Verbindung mit einem Leistungsschalter 28 angeordnet ist. Über die Verbraucherabzweige 42 werden aus den Bordnetzauptgruppen 41 die einzelnen Verbrau-
- 15 cher mit elektrischer Energie versorgt.

Bei den in den FIGUREN 3 und 4 näher erläuterten elektrischen Netzen 21 sind die in den unterschiedlichen Schiffssicherungsbereichen 22, 23, 24 angeordneten Teilnetze in geeigneter Weise miteinander gekuppelt. Für den Fall eines Kurz-

20 schlusses im Schiffssicherungsbereich 22 wird der Kurzschlussstromanteil aus dem Schiffssicherungsbereich 23 durch den HTS-Strombegrenzer 31 in der Netzüberleitung 33 zwischen dem Schiffssicherungsbereich 22 und dem Schiffssicherungsbereich 23 begrenzt; durch diese Netzüberleitung 33 zwischen

25 dem Schiffssicherungsbereich 22 und dem Schiffssicherungsbereich 23 fließt nur noch der begrenzte Strom, dabei bleiben der Schiffssicherungsbereich 23 und der Schiffssicherungsbereich 24 ohne spürbaren Spannungseinbruch. Der zusätzliche

30 Betrag des begrenzten Stromes muss im Selektivschutz des Generatorschalters berücksichtigt werden, das heißt, gegebenenfalls über Strom durch den Generatorschalter. Entsprechendes ist dem Fachmann bekannt.

- 35 Mittels der Halbleiterschalter 37 bzw. 45 in den beiden Abzweigen 36, mittels denen der Bordnetzzwischenkreis 35 im ersten Schiffssicherungsbereich an das Hauptnetz 27 ange-

geschlossen ist, ist eine selektive Abzweigabschaltung möglich; sofern der Spannungseinbruch kurz gehalten werden kann, kann gegebenenfalls das Hauptnetz 27 auch im Schiffssicherungsbe- reich 22 aufrecht erhalten werden.

5

Grundsätzlich ist es auch möglich, die Unterverteilungen 41 gegebenenfalls über das Kriterium Strom mit Halbleiterschalt- tern oder aber konventionell über Strom/Zeitstaffelung zu schützen, wobei hier die eingeleiteten Schutzmaßnahmen nach  
10 der Wichtigkeit gewählt werden.

Aufgrund der Funktion des HTS-Strombegrenzers 31 ist im Ernstfall die Netzüberleitung 33 zwischen dem Schiffssiche- rungsbereich 22 und dem Schiffssicherungsbereich 23 ausge-  
15 schaltet; sie kann unmittelbar nach Klärung des fehlerhaften Abzweigs mittels der Halbleiterschalter 37 bzw. 45 wieder eingeschaltet werden.

Jeder HTS-Strombegrenzer 31 hat im supraleitenden Zustand ei-  
20 nen nicht messbaren, vernachlässigbar kleinen elektrischen Widerstand. Im Falle eines Stromes, der oberhalb des Bemessungsstroms liegt, steigt der elektrische Widerstand des HTS-Strombegrenzers 31 sprunghaft an, bis sein supraleitender Zustand in seinen normalleitenden Zustand überwechselt. Der  
25 HTS-Strombegrenzer bzw. dessen Supraleiter nimmt dann einen endlichen Widerstand an, bis er wieder zurückgekühlt wird.

In einem Stromnetz wird der HTS-Strombegrenzer 31, wie in den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen, in Verbindung  
30 mit einem galvanisch trennenden Element mit Ausschaltvermögen eingesetzt; im Falle der Ausführungsbeispiele ist als solches der Leistungsschalter 32 vorgesehen. Hier ist ggf. auch der Einsatz von Lastschaltern möglich.

35 Zum Schutz einer Elektroenergieerzeugungseinheit oder eines Verbrauchers kann eine Kombination aus einem HTS-Strombegren-



zer, einem Halbleiterschalter und einem Leistungs- bzw. Lastschalter vorteilhaft sein.

Bei den in den FIGUREN 3 und 4 gezeigten Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen elektrischen Netzes 21 handelt es sich um Schiffsnetze, die nicht nur auf Marine(Navy)-Schiffen, sondern auch auf Küstenwachbooten, Fischereischutzbooten, also auf allen möglichen Schiffen, die hoheitliche Aufgaben auf hoher See vornehmen und evtl. beschossen werden, zum Einsatz kommen können. Als Vorzugsvariante ist die in FIGUR 4 angegebene Kombination aus AC- und DC-Netzen anzusehen.

Als Elektroenergieerzeugungseinheiten können beispielsweise Brennstoffzellen, Gasturbosätze und Dieselgeneratorsätze zum Einsatz kommen. Die Energiespeicher 38 können beispielsweise in Form von Batterien, Kondensatoren, Schwungradgeneratoren, supraleitenden Magnetenergiespeichern etc. ausgeführt sein, wobei allen genannten Energiespeichern im Falle der in FIGUR 4 gezeigten Vorzugsvariante gemeinsam ist, dass sie über Halbleiterschalter 45 zur Reserveenergieeinspeisung an die zugeordnete Verbraucherebene zugeschaltet werden müssen. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Spannungsebenen, vorzugsweise für Übertragungsleistungen möglich, die jeweils von dem Einsatz- und Aufgabengebiet des auszurüstenden Schiffes abhängen.

Das Schiffsnetz hat ein Erdungs- und Potentialsystem, welches nach einer der Varianten nach VDE DIN bzw. IEC ausgeführt wird; vorzugsweise hat das Schiffsnetz einen isolierten Sternpunkt bei AC-Mittel- bzw. Niederspannung, wobei für Gleichspannungsnetze ebenfalls ein isoliertes System (IT-Netz) möglich ist. Das isolierte System ist bevorzugt, weil ein Erdschluss einer Phase nicht sofort zum Kurzschluss führt.

Die HTS-Strombegrenzer können an Energie-Quellen, z.B. an Generatoren, Batterien, Brennstoffzellen od.dgl. angeordnet werden, vorzugsweise sind sie jedoch in Kupplungen oder Überleitungen anzuordnen. Die Halbleiterschalter können ebenfalls an Energie-Quellen, z.B. Generatoren, Batterien, Brennstoffzellen, in Kupplungen oder Überleitungen angeordnet werden; vorzugsweise können derartige Halbleiterschalter jedoch in Abzweigen mit unidirektionaler Stromrichtung angeordnet werden, wobei sie so dimensioniert werden, dass ein selektiver Schutz realisiert werden kann.

In den FIGUREN 5 bis 9 werden in Beispielsform die unterschiedlichen Ausgestaltungen des Systems in Abhängigkeit von den Schiffsgrößen der unterschiedlichen Marine-Schiffe gezeigt.

FIGUR 5 zeigt ein Netz und eine Antriebskonzeption einer Fregatte; FIGUR 6 das Netz und die Antriebskonzeption einer Korvette; FIGUR 7 das Netz und die Antriebskonzeption eines Schnellboots; FIGUR 8 das Netz und die Antriebskonzeption eines unbemannten Kampfboots in größerer Form und FIGUR 9 das Netz und die Antriebskonzeption eines kleineren unbemannten Kampfboots.

In den FIGUREN 5 bis 9 bezeichnet jeweils 51 die Energieerzeugung mit Brennstoffzellenanlagen, 52 die Energieerzeugung mit Gasturbinengeneratoren (wahlweise auch mit Dieselgeneratoren) sowie 53 das Fahrnetz, das an die Brennstoffzelle angeschlossen ist, sowie 54 das Fahrnetz, das an den Gasturbinengenerator angeschlossen ist. 55 bezeichnet die Marschfahrtantriebe, 56 die Höchstfahrtantriebe und 57 einen Hilfsantrieb. 58 bezeichnet die Waffensysteme und 59 die E-Werke für die Niederspannung. Die einzelnen Aggregate sind jeweils in Schiffssicherungsbereichen angeordnet, die mit SSB1, SSB2, SSB3 und SSB4 bezeichnet sind. Im Prinzip handelt es sich um die bereits vorstehend beschriebenen Aufteilungen, die mit den in den FIGUREN 3 und 4 detailliert beschriebenen Sicher-

rungskomponenten versehen werden. Die Größe und Anzahl der einzelnen Aggregate und Komponenten sind jeweils von der Schiffsgröße sowie gegebenenfalls auch von dem speziellen Einsatz der unterschiedlichen Schiffe abhängig. In den FIGUREN 5 bis 9 werden besonders vorteilhafte Ausgestaltungen gezeigt, es versteht sich jedoch für den Fachmann, dass abweichende, von den Grundprinzipien der Erfindung Gebrauch machende Ausgestaltungen mit in den Schutz einbezogen werden sollen.

10

Desgleichen versteht sich für den Fachmann, dass nicht nur Schiffe mit POD-Antrieben, sondern auch Schiffe mit Innenbordmotoren entsprechend der Erfindung elektrisch ausgerüstet werden.

15

HTS-Innenbordmotoren werden dabei vorteilhaft mit sehr kurzen Propellerwellen ausgeführt, d.h., die Motoren werden in dem Bereich angeordnet, in dem sich bei konventionell ausgerüsteten Schiffen die Wellentunnel befinden. So kann sehr vorteilhaft von den geringen Gewichten und Abmessungen der elektrischen Motoren in HTS-Technik Gebrauch gemacht werden. Dabei können die Wasserstrahlantriebe entfallen oder durch spezielle Propellerantriebe ersetzt werden.

20

## Patentansprüche

1. Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Bordstromversorgungssystem für emissionsarme Überwasser-Marine(Navy)-Schiffe  
5 unterschiedlicher Klassen und Größen, ausgebildet als Ausrüstungssegment, mit wenigstens einem aus einem Gleichstromnetzwerk mit elektrischer Energie versorgbaren Marschfahrtantrieb, z.B. einem elektrischen Ruderpropellerantrieb und mit wenigstens einem aus einem Wechselstromnetzwerk mit elektrischer Energie versorgbaren Zusatzantrieb, z.B. einem Wasserstrahlantrieb, welcher bedarfsweise zuschaltbar ist, wobei  
10 das Gleichstrom- und das Wechselstromnetzwerk derart ausgebildet sind, dass eine wechselseitige Energieübergabe erfolgen kann.
- 15 2. Ausrüstungssegment nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gleichstromnetzwerk wenigstens ein Brennstoffzellenmodul zur Erzeugung elektrischer Energie aufweist, insbesondere ein  
20 Brennstoffzellenmodul, das zumindest teilweise Reformerserstoff verbraucht.
3. Ausrüstungssegment nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass  
25 das Brennstoffzellenmodul aus miteinander verschalteten, luftatmenden Brennstoffzellen besteht, insbesondere aus Brennstoffzellen mit unterschiedlicher Dynamik.
4. Ausrüstungssegment nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
30 che, dadurch gekennzeichnet, dass das Wechselstromnetzwerk wenigstens einen von einer Gasturbine angetriebenen Synchrongenerator, z.B. einen Synchrongenerator in HTS-Technik, zur Erzeugung elektrischer Energie aufweist.  
35

5. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Gleichstromnetzwerk ein 1 kV- bis 15 kV-Netzwerk ist.

5

6. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Wechselstromnetzwerk ein 1 kV- bis 15 kV/50 Hz oder 60 Hz  
10 Netzwerk ist.

7. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 das Gleichstromnetzwerk und das Wechselstromnetzwerk zusammen  
anforderungsgerecht das Bordnetzwerk des Schiffes mit elektrischer Energie versorgen können.

8. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
20 gekennzeichnet durch  
einen Gleichstromzwischenkreis zur Ankopplung des Bordnetzwerkes an das Gleich- und/oder an das Wechselstromnetzwerk.

9. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Gleichstromnetzwerk Waffen- und Elektroniksysteme mit  
elektrischer Energie versorgt, auch High-Energy- Puls- oder  
30 Laserwaffen.

10. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 mehrere Brennstoffzellenmodule im Marine(Navy)-Schiff in unterschiedlichen, voneinander abgeschotteten Sektionen bzw.



Sicherheitszonen verteilt angeordnet sind, die ein ausfallsicheres Netz bilden.

5 11. Ausrüstungssegment, insbesondere nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das im Marine(Navy)-Schiff gebildete elektrische Netz Strombegrenzungsgeräte aufweist, die als HTS(hochtemperatursupraleitende)-Strombegrenzer und/oder Halbleiterschalter ausgebildet sind und mittels derer die Rückwirkung von Spannungseinbrüchen im Kurzschlussfall auch nicht betroffene Teilnetze auf eine Zeitspanne im niedrigen Millisekundenbereich begrenzt, insbesondere <1ms begrenzt und damit derartige Spannungseinbrüche auf das jeweils betroffene Teilnetz beschränk-  
15 bar sind.

12. Elektrisches Netz nach Anspruch 11, mit Strombegrenzungsgeräten, zu denen jeweils ein HTS-Strombegrenzer und ein Halbleiterschalter und/oder ein Leistungsschalter gehören,  
20 mittels derer insbesondere Energiequellen in Form von Elektroenergieerzeugungseinheiten und/oder Energiespeichern schützbar sind.

13. Ausrüstungssegment nach Anspruch 11 oder 12,  
25 dadurch gekennzeichnet, dass die HTS-Strombegrenzer mit auf die Leistungsschalter wirkenden Sekundärschutzeinrichtungen kombiniert sind.

14. Ausrüstungssegment nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
30 dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Netz als Strahlennetz mit Strom/Zeitstaffelung ausgebildet ist, in dessen Netzkupplungen und/oder Überleitungen die Strombegrenzungsgeräte angeordnet sind.

35 15. Ausrüstungssegment nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass

die Strombegrenzungsgeräte so angeordnet sind, dass mittels ihnen im Zusammenwirken mit der Netzkonfiguration Stromselektivität erreichbar ist.

- 5 16. Ausrüstungssegment nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass  
das elektrische Netz im Marine(Navy)-Schiff als Strahlennetz mit geringst möglicher Vermaschung oder einer rückwirkungs-  
freien Vermaschung ausgebildet ist.

10

17. Ausrüstungssegment nach Anspruch 16, bei dem die rückwirkungs-  
freie Vermaschung mittels diodenentkoppelter Einspeisung von DC-Schaltanlagen oder DC-Verbrauchern von zwei verschie-  
denen Schiffssicherungsabschnitten aus realisiert ist.

15

18. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 17,

dadurch gekennzeichnet, dass

- 20 das gebildete elektrische Netz aus einem Normalzustand, in dem es als vermaschtes elektrisches Netz ausgebildet ist, in einen Sonderzustand umschaltbar ist, in dem es als Strahlennetz ausgebildet und die Wirksamkeit der Strombegrenzungseinrichtungen gewährleistet ist.

- 25 19. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 18, dessen einzelne Schaltgeräte eine Kommunikations-  
einrichtung aufweisen, mittels der bei Versagen des Schaltgeräts ein übergeordneter, ohne Zeitverzug auslösender Schalter kontaktierbar ist.

30

20. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 19, dessen Automatisierungs- und Regelungseinrichtung eine on-time-Diagnoseeinheit mit hoher Rechengeschwindigkeit aufweist, die vorzugsweise selbstlernend, unter Nutzung von  
35 Elementen einer Fuzzy-Logik oder eines neuronalen Netzes arbeitet.

21. Ausrüstungssegment nach Anspruch 20, bei dem an jedem potentiellen Fehlerort eine Sensor- bzw. Meldeeinheit vorgesehen ist, mittels der ein dem jeweiligen Fehlerort zugeordnete Gerätezustand bzw. eine dem jeweiligen Fehlerort zugeordneten physikalische Größe erfassbar und an die on-time-Diagnoseeinheit der Automatisierungs- und Regelungseinrichtung weiterleitbar ist.

22. Ausrüstungssegment nach Anspruch 21, bei dem die Sensor- bzw. Meldeeinheiten versorgungsunabhängig von ihren Fehlerorten sind.

23. Ausrüstungssegment nach Anspruch 21 oder 22, bei dem die Verbindung zwischen der on-time-Diagnoseeinheit der Automatisierungs- und Regelungseinrichtung und den Sensor- bzw. Meldeeinheiten mittels drahtgebundenen Elementen, z.B. als Kupferleitungen oder Glasfaserleitungen ausgebildeten Steuer- oder Buskabeln, realisiert ist.

24. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der Ansprüche 21 bis 23, mit drahtlos detektierenden und drahtlos übertragenden back-up-Sensoren, wobei in jedem Schiffssicherungsabschnitt dezentrale Repeater installiert sind.

25. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als Elektroenergieerzeugungseinheiten PEM- oder HT-Brennstoffzellen vorgesehen sind, mittels denen ein als DC-Mittelspannungsnetz ausgebildetes Hauptnetz mit Gleichstrom versorgbar ist.

26. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als Energiespeicher Batterien, statische Speicher, wie Magnetspeicher und Kondensatoren und/oder rotierende Speicher vorgesehen sind, die vorzugsweise in einem Bordnetzzwischenkreis angeordnet sind.

27. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es Netzkupplungen und/oder Netzüberleitungen aufweist, in denen jeweils ein HTS-Strombegrenzer, vorzugsweise mit einem in Reihe zugeordneten Leistungsschalter vorhanden ist.

28. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es HTS-Strombegrenzer mit einem Supraleiter aus YBaCuO-Verbindungen, der in Dünnschichttechnik ausgeführt ist und als kryogene Flüssigkeit Flüssigstickstoff benutzt, aufweist.

29. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, mit Abzweigen, in denen Halbleiterschalter, vorzugsweise mit einem in Reihe zugeordneten Leistungsschalter, angeordnet sind.

30. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ein Haupt-Bordnetz mit Bordnetzzwischenkreisen verbindenden Abzweigen mit Halbleiterschaltern aufweist.

31. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, in dessen Bordnetz-Hauptgruppen zugeordneten Verbraucherabzweigen, Halbleiterschalter angeordnet sind.

32. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ~~Energiequellen~~ in Form von Elektroenergieerzeugungseinheiten oder Energiespeichern mittels Halbleiterschaltern, insbesondere schnellen Halbleiterschaltern, schützbar sind.

33. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, mit einem elektrischen Netz, dessen Halbleiterschalter als Schaltelemente IGCT (Integrated Gate Com-

mutated Thyristors), GTO (Gate turn-off Thyristors), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) oder MOS-Transistoren ausgebildet sind.

- 5 34. Ausrüstungssegment nach Anspruch 33, bei dem als IGCT ausgebildete Schaltelemente der Halbleiterschalter mittels Snubberschaltungen geschützt sind.

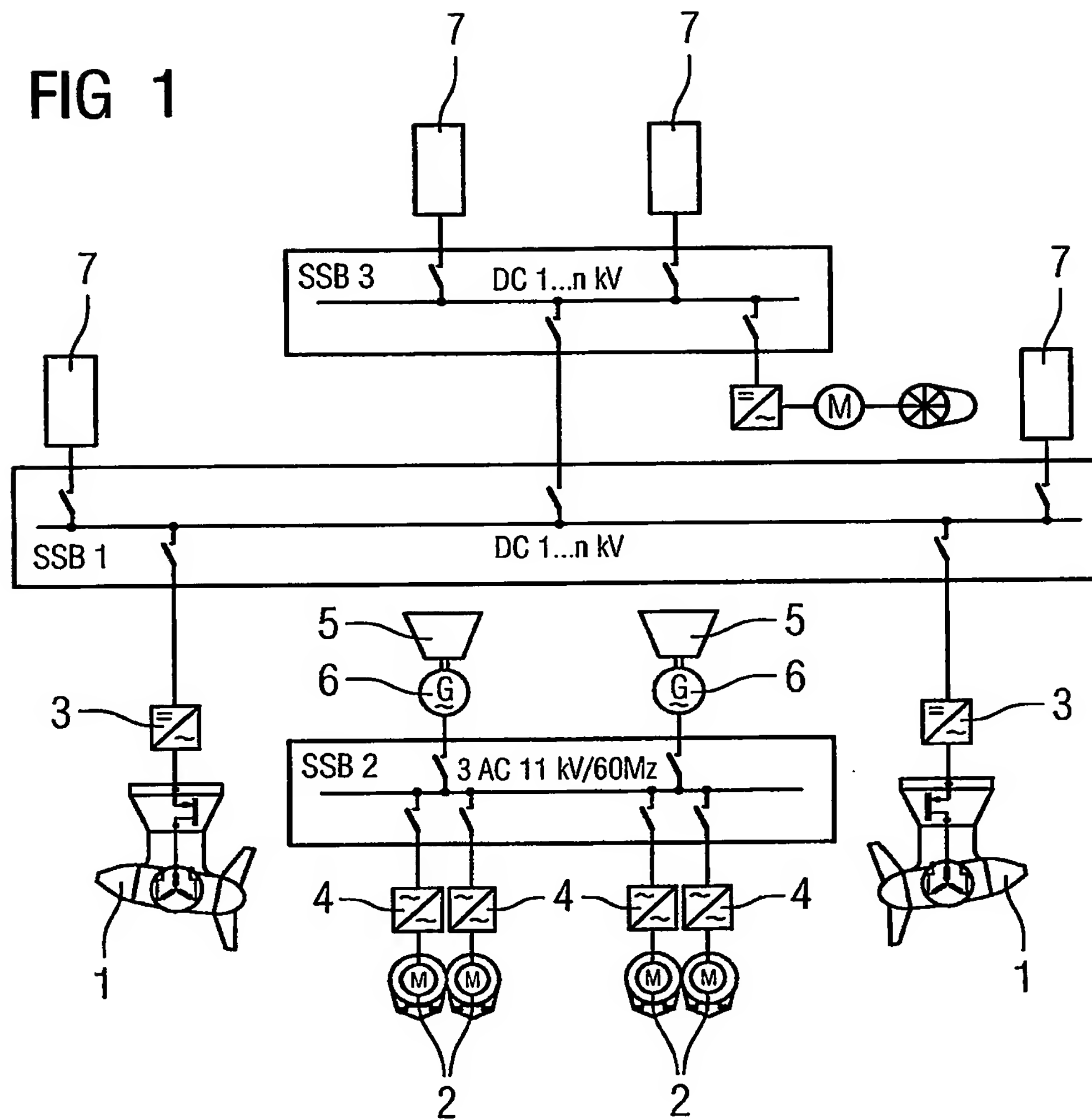
- 10 35. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
es als Standardausrüstungssegment für Marine(Navy)-Schiffe unterschiedlicher Größe ausgebildet ist, wobei eine Größenanpassung in Form einer Netzverkleinerung oder -vergrößerung  
15 erfolgt.

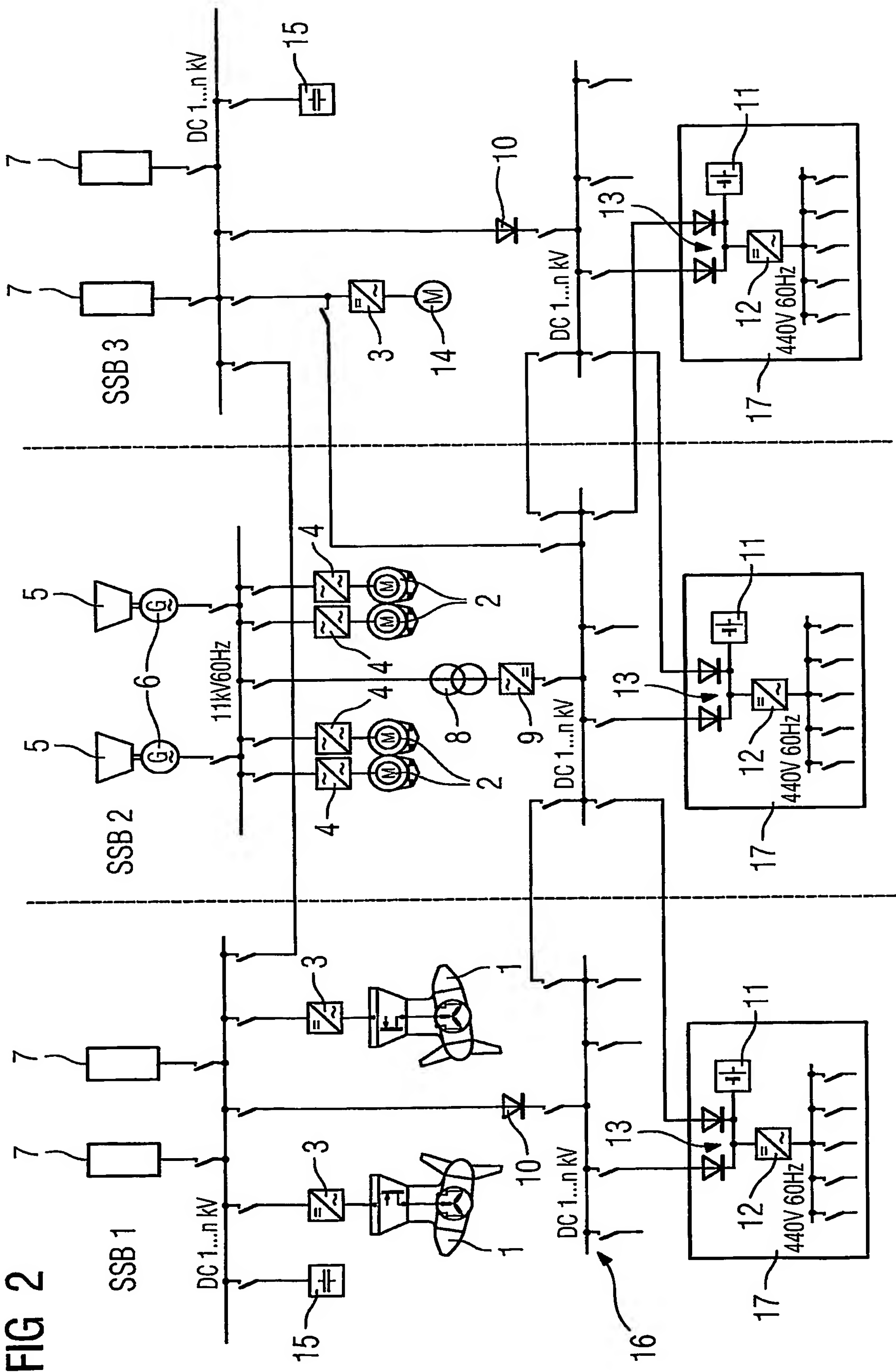
36. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
20 als Marschfahrtantriebe POD-Antriebe verwendet werden.

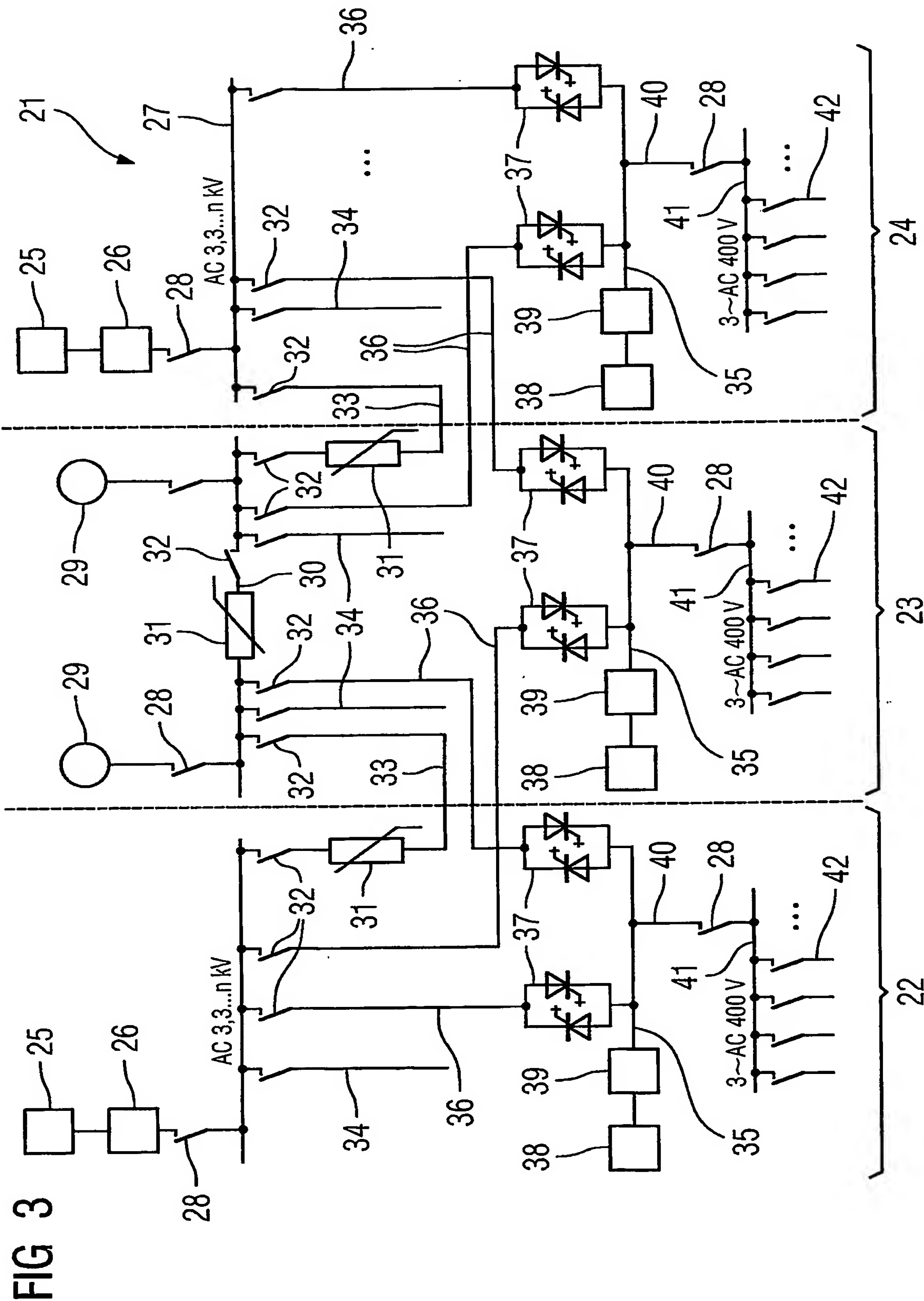
37. Ausrüstungssegment nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 35,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
25 als Marschfahrtantriebe elektrische Innenbordmotoren verwendet werden.



FIG 1







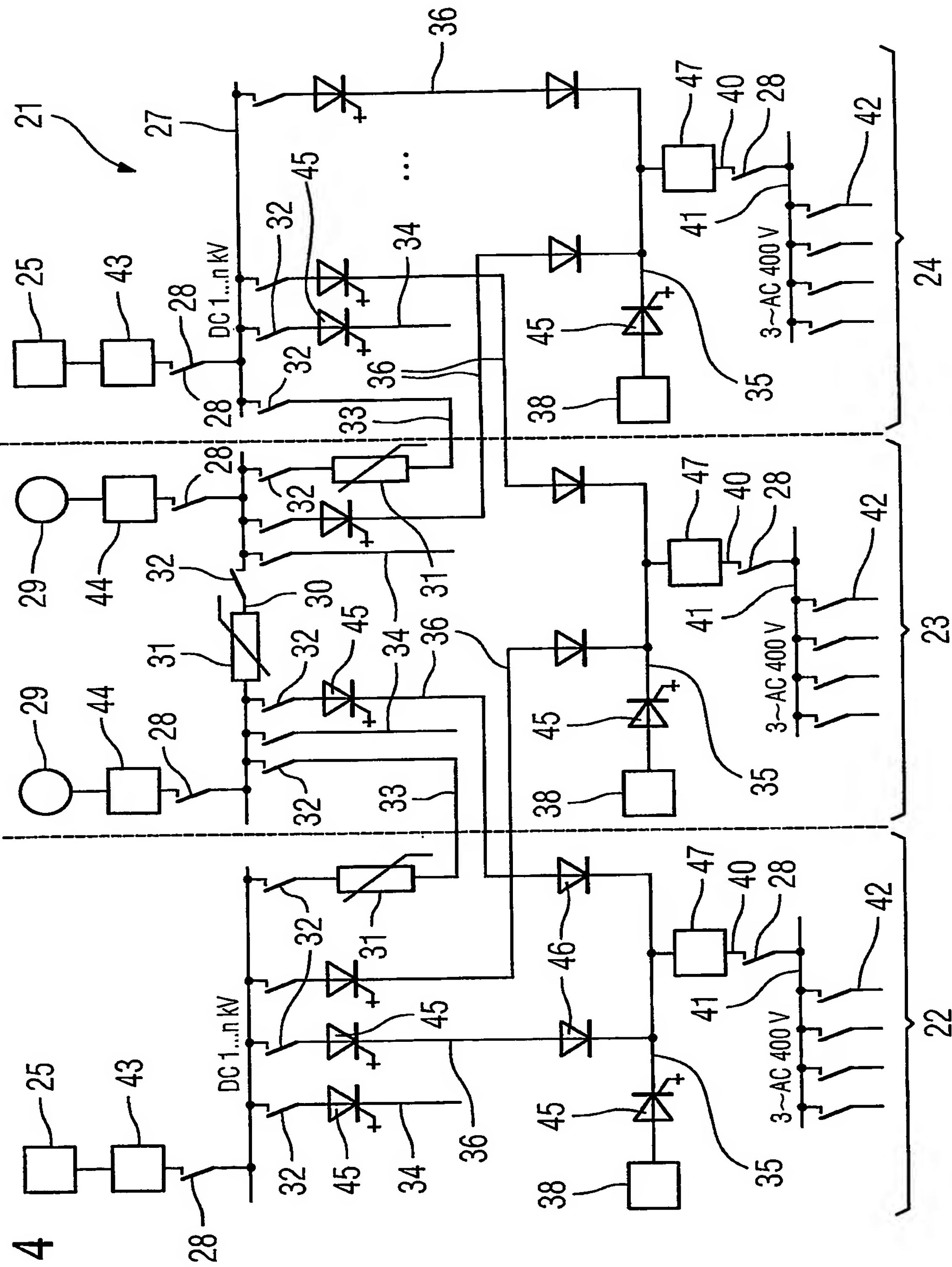


FIG 4

FIG 5

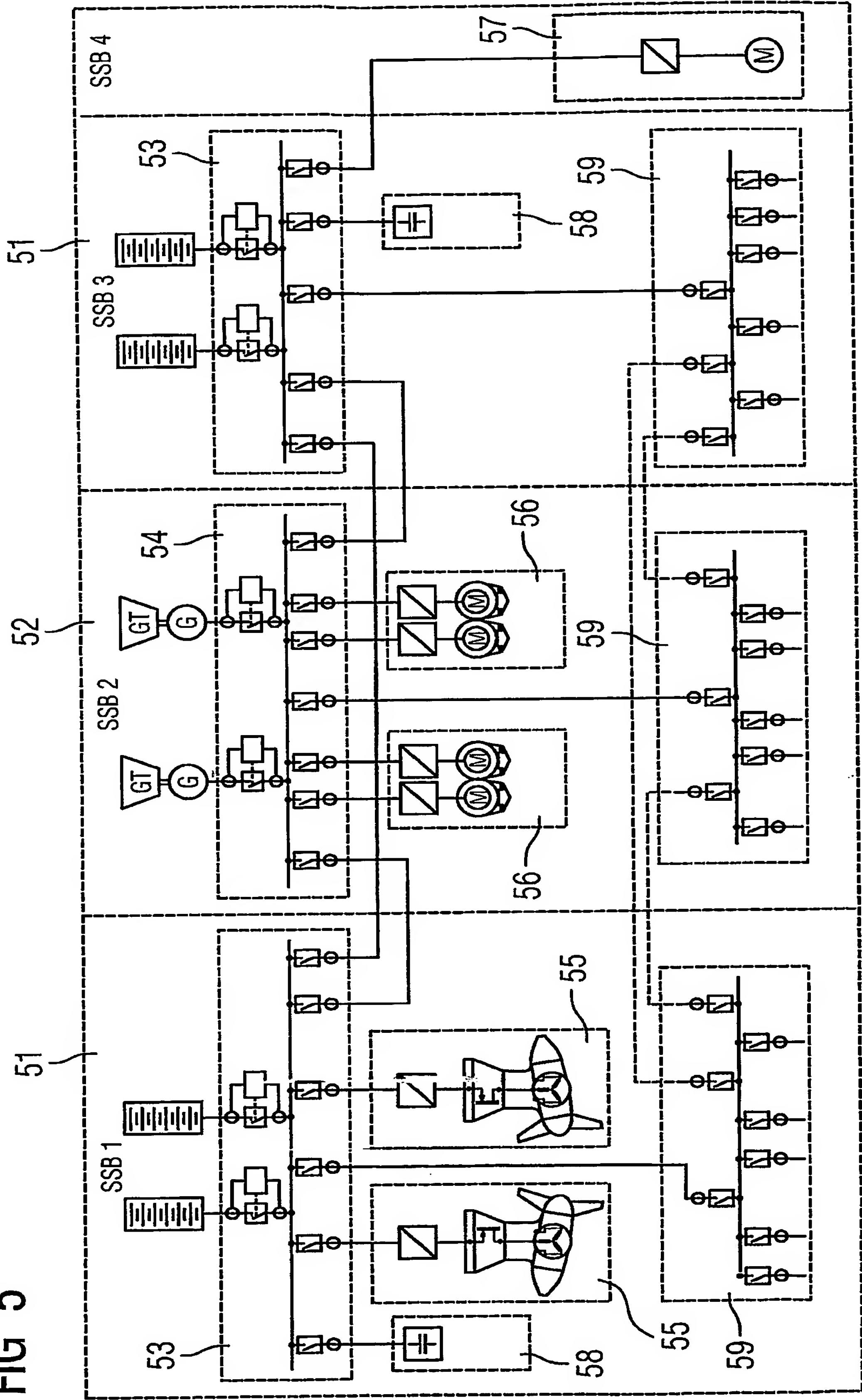




FIG 6

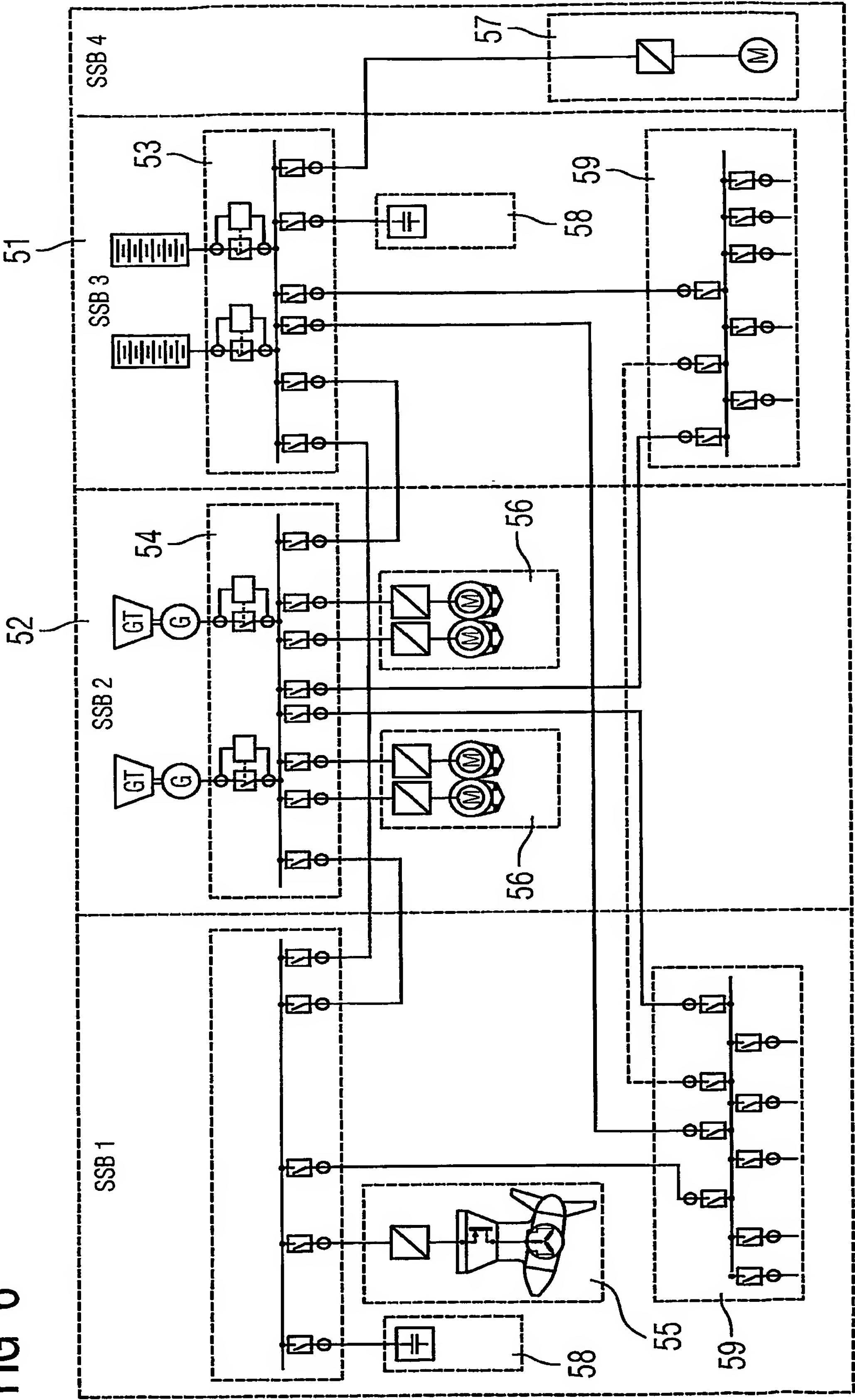


FIG 7

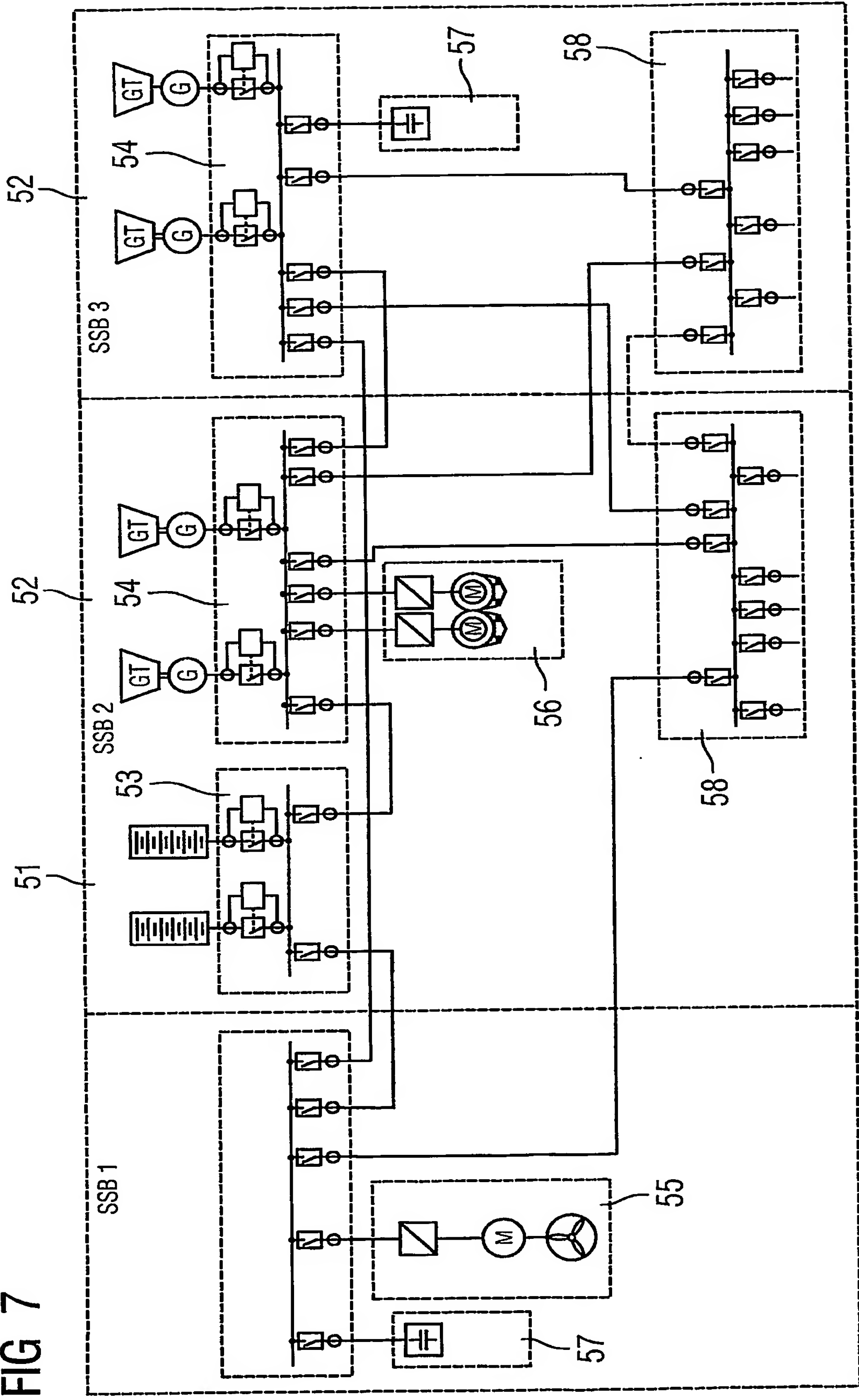


FIG 8

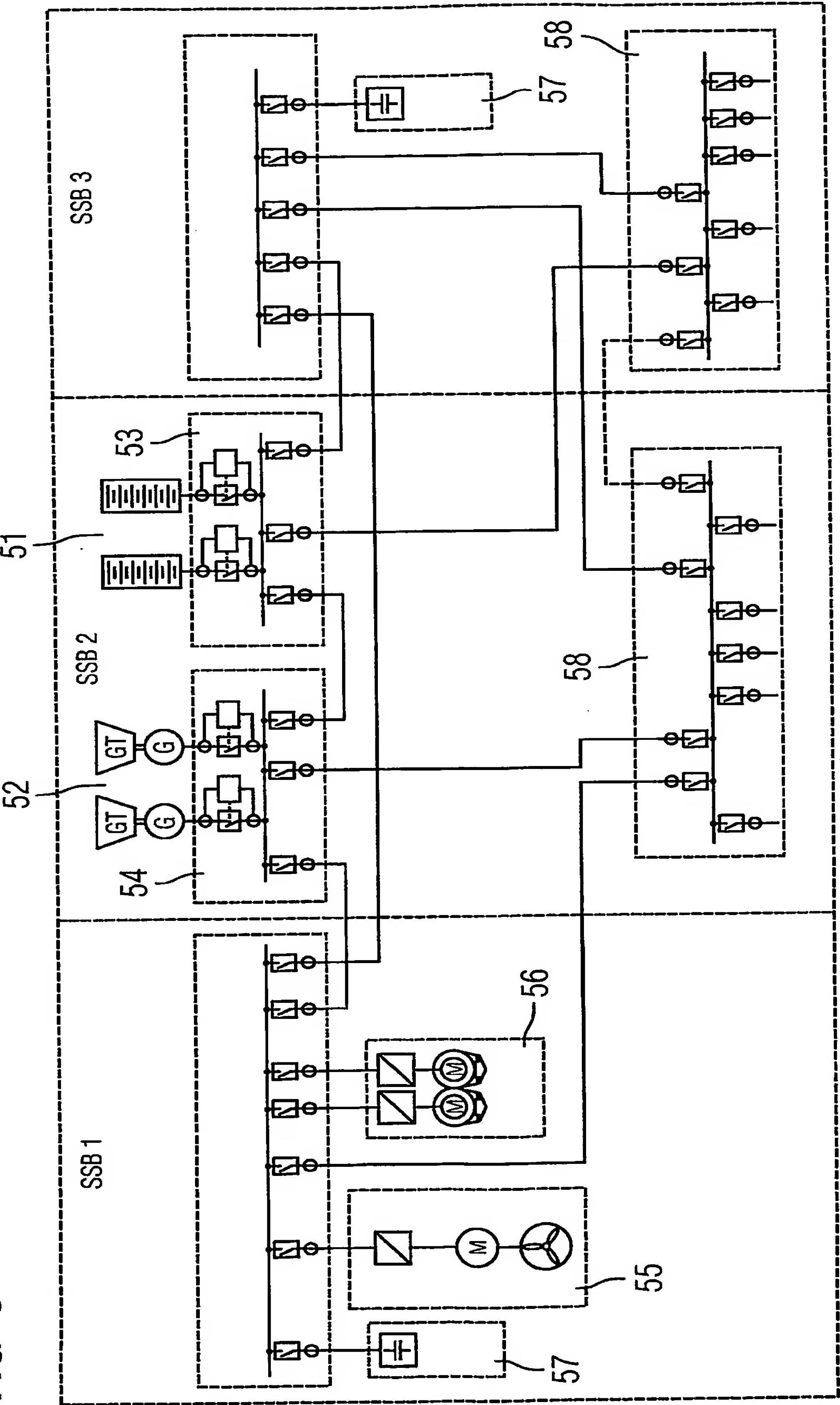


FIG 9

